



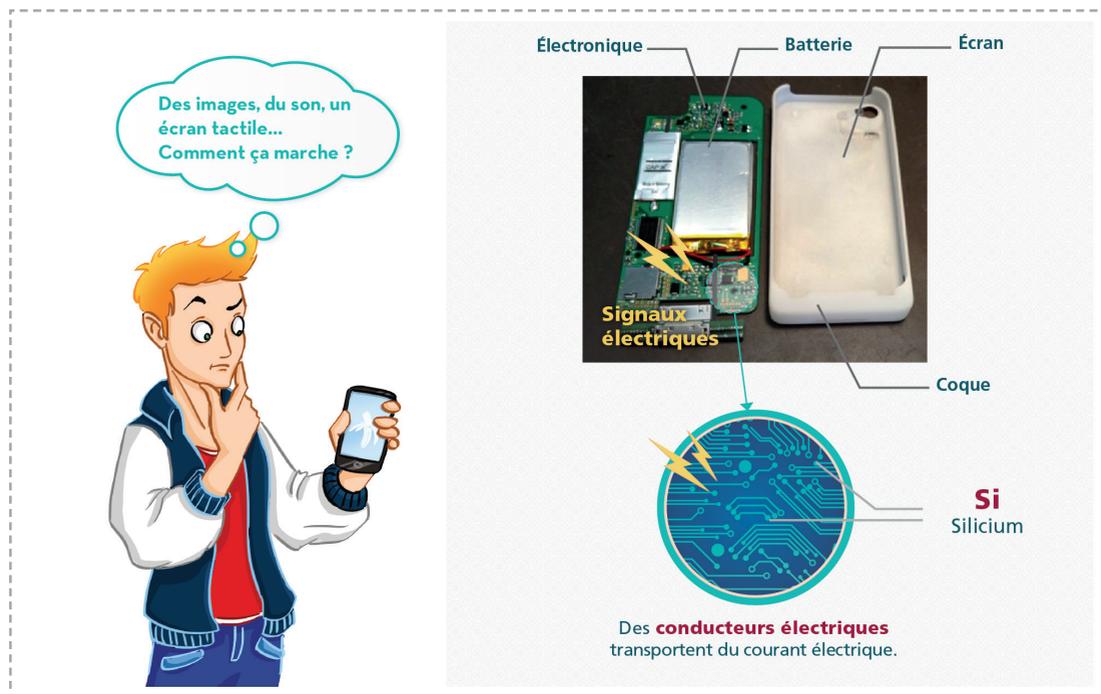
# LA CHIMIE DES ÉCRANS SOUPLES

Nos téléphones portables, nos ordinateurs ou tablettes, qu'ils soient connectés ou non, reçoivent un signal électrique, le traitent pour en extraire l'information, qu'ils mettent en forme pour en tirer une image projetée sur un écran ou un son amplifié par un haut-parleur (figure 1).

Les appareils électroniques fonctionnent par des courants électriques (des signaux) et sont donc fabriqués à partir de conducteurs électriques. À l'origine, c'est le silicium qui s'est imposé comme le plus adapté.

Figure 1

Les portables fonctionnent à partir des signaux électriques.



**Remarque**

Le silicium est un métal que l'on ne rencontre pas sous forme naturelle sur Terre. C'est un composant essentiel de roches comme le sable. C'est de là qu'il est extrait par des opérations chimiques.

Depuis quelques années, les chimistes ont synthétisé de nouveaux matériaux conducteurs de l'électricité, des matériaux organiques, qui ouvrent la voie vers d'autres équipements.

## Les matériaux organiques

Les conducteurs organiques n'ont pas les mêmes propriétés que le silicium, conducteur inorganique. Ils sont beaucoup moins rapides, donc moins adaptés aux ondes radio, mais considérablement moins coûteux. La question se pose de savoir si on peut les utiliser pour réaliser des équipements électroniques et si oui, quels types d'équipements ?

### **Matériaux organiques, matériaux inorganiques**

La chimie organique étudie les molécules (assemblages d'atomes liés entre eux) que l'on rencontre chez les êtres vivants. Elles sont constituées principalement d'atomes de carbone, d'oxygène, d'hydrogène qui forment un squelette et contiennent éventuellement d'autres atomes comme l'azote, le phosphore ou certains métaux qui donnent des propriétés particulières. Ces molécules organiques peuvent être arrangées sous forme de solides ou de films et constituer des matériaux : certains peuvent conduire l'électricité.

La chimie inorganique s'inspire des roches qui constituent la terre, comme le calcaire des falaises, le sable (d'où l'on tire le silicium), l'argile, etc. Ces roches sont souvent constituées de cristaux plus ou moins réguliers. Elles peuvent contenir des parties métalliques d'où l'on tire les métaux. Certains assemblages ont des propriétés intéressantes, comme de conduire l'électricité : ce sont des matériaux inorganiques conducteurs.

Dans l'industrie électronique, les matériaux organiques peuvent être utilisés comme conducteurs, semi-conducteurs, isolant ou simplement comme substrat.



## Exemples de matériaux organiques pour l'électronique

### Conducteurs polymères :

Polyaniline, Polypyrrole, PEDOT : PSS (mélange de deux polymères, le Poly [3,4-ÉthylèneDiOxyThiophène] et le Polystyrène Sulfonate de Sodium).

### Semi-conducteurs :

Polymères, petites molécules, inorganique (oxyde, Si).

### Isolants :

Polymères : fluorés, polyméthylmétacrylate (PMMA).

### Substrats :

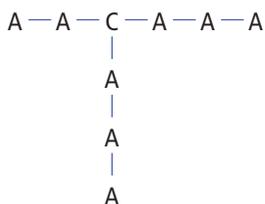
Plastiques (polyéthylène), papiers.

## Exemples de structures de polymères

### Homopolymère linéaire :



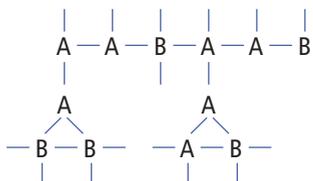
### Homopolymère ramifié :



### Copolymère linéaire :



### Copolymère réticulé :



A, B, C sont des molécules organiques de petites tailles. L'atome qui se répète sur la chaîne principale est généralement le carbone. Les autres atomes constitutifs sont surtout, l'hydrogène, l'oxygène, l'azote mais aussi le phosphore, le bore, etc.



Les **polymères organiques** sont de longues molécules constituées de l'enchaînement de petites molécules organiques. Ces enchaînements peuvent être de géométries très diverses comme indiqué ci-contre.



## Conducteur, semi-conducteur de l'électricité : qu'est-ce que ça veut dire ?

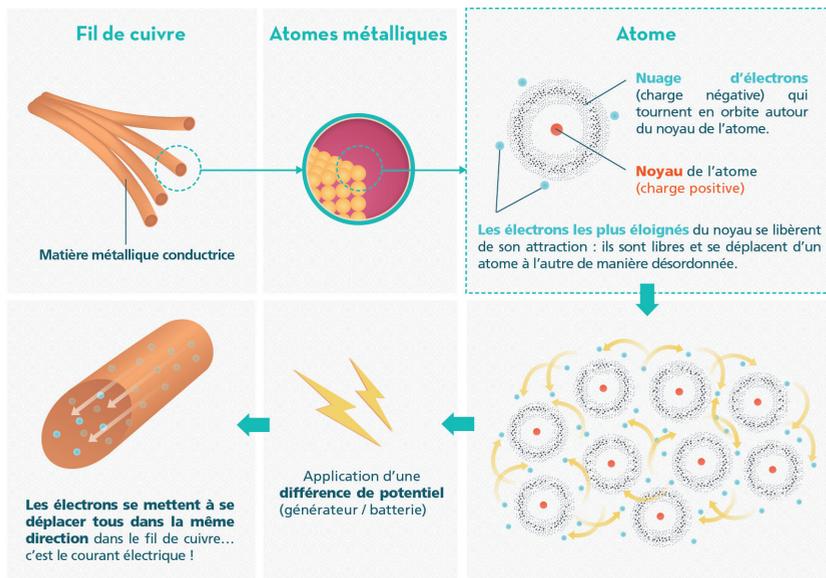
La *figure 2* montre ce qui se passe dans la matière en présence d'un courant électrique.

On prend l'exemple d'un fil de cuivre : il est constitué d'atomes de cuivre – chacun comportant un « noyau atomique » et des électrons. Comme c'est un métal, les électrons sont assez éloignés du noyau pour en être détachés par un champ électrique même faible comme une pile électrique peut en fournir. Chaque électron suit la direction de la force électrique (on dit aussi du « champ électrique ») : c'est le courant électrique. **Le cuivre est « conducteur » de l'électricité.**

Pour d'autres matériaux, comme par exemple un morceau de matière plastique, les électrons restent si fortement attachés au noyau atomique qu'un champ électrique ne les arrache pas : aucun courant n'est créé : **ce sont des matériaux « isolants ».**

Il existe une troisième catégorie de matériaux, intermédiaire : **ce sont des « semi-conducteurs ».** Seuls, ce sont des isolants, mais un champ électrique, même tout petit, peut détacher les électrons ; ils deviennent alors conducteurs. Ces matériaux peuvent donc être « commandés » à la demande de l'opérateur : isolants ou conducteurs. Il suffit de les placer dans un circuit qu'on « ouvre ou ferme » par un interrupteur. C'est le principe du transistor, qu'on retrouvera au chapitre « Exploder un smartphone ». C'est le transistor, grâce à sa propriété d'être commandé, qui est à la base de tous nos appareils électroniques. Dans les circuits, il doit être fixé sur un support – qu'on appelle le substrat.

**Figure 2** Mécanisme de la conduction de l'électricité par le cuivre.





# Avantages et limites du silicium

Le silicium s'est imposé dans nos équipements électroniques parce qu'il permet le passage des courants qui correspondent à la radio ou au téléphone (courants de hautes fréquences).

Il permet aussi de construire des composants de très petites dimensions : les ingénieurs ont inventé des techniques pour réaliser cette miniaturisation impressionnante qui marque chaque nouvelle génération d'appareils.

## Appareils compacts ou appareils de grandes surfaces ?

Un simple smartphone est cent fois plus puissant que les ordinateurs de bureau des années 1980. Et les fabricants se livrent toujours à la course à la miniaturisation !

Néanmoins, le silicium ne permet pas de couvrir de grandes surfaces (des planches, murs, sols, toits) d'électronique. Toute une catégorie d'applications lui est ainsi interdite. Les matériaux organiques lui sont alors préférés.



### Remarque

On avait, il y a quelques décennies, un transistor sur une surface d'1 mm<sup>2</sup> de silicium ; aujourd'hui, on en a plusieurs milliards !

Les semi-conducteurs organiques et inorganiques ont des propriétés différentes.

Avantages 😊 Inconvénients ☹️

**Matériaux semi-conducteur ORGANIQUES**



Vitesse de conductivité électrique



Coûts de fabrication



Masse



Flexibilité



Miniaturisation



**Matériaux semi-conducteur INORGANIQUES (ex: silicium)**

Figure 3

Comparaison des propriétés des semi-conducteurs organiques et inorganiques.



Finalement, on ne choisit pas : le silicium fera la miniaturisation et les matériaux organiques les dispositifs étendus (*Figure 3*) !

Les matériaux organiques, inaptes à la miniaturisation, ne peuvent pas remplacer le silicium dans les équipements mobiles actuels (smart-phones ou tablettes). En revanche, comme on peut les fabriquer en grandes surfaces (comme des tissus), on peut les utiliser pour la réalisation d'équipements, de vastes dimensions, totalement nouveaux. La *figure 4* en donne quelques exemples.

Figure 4

- A) Drap pour la cartographie thermique d'un patient ;
- B) écrans flexibles, faciles à transporter ;
- C) interface homme-machine.



### Remarque

La résistance des matériaux organiques (dont on peut se faire une idée à partir des feuilles de plastiques ou des tissus) permet ces applications, inaccessibles au silicium très fragile (un téléphone qui tombe peut se casser !).

## Faire des circuits électriques avec les matériaux organiques



### Remarque

La manipulation du silicium doit se faire en l'absence stricte de poussières. Elle se réalise donc dans des « salles blanches », en atmosphère parfaitement contrôlée et par des équipements robotisés.

### L'encre électronique

Les matériaux organiques se fabriquent à des températures modérées (guère plus qu'une centaine de degrés) et ne nécessitent pas les équipements compliqués et chers de la technologie au silicium.

On peut dissoudre les molécules actives (conductrices du courant) et les manipuler comme l'encre. Ce sont des « encres » électriquement actives (*Figure 5*). On peut étaler cette encre comme on le fait avec l'encre d'imprimerie.



Figure 5

Différents types d'encres permettant de déposer les matériaux organiques conducteurs sur une variété de supports.

## L'imprimerie du XXI<sup>e</sup> siècle

On va imprimer les circuits électriques sur les supports choisis (films plastiques par exemple) comme dans l'imprimerie traditionnelle qui se fait sur papier depuis tant de siècles ! C'est l'électronique imprimée !



Figure 6

Principe de l'électronique imprimée.

On retrouve les modes d'impression habituels pour les journaux, les livres, etc. La *figure 7* montre une installation de sérigraphie utilisée pour l'imprimerie électronique. Elle ressemble exactement à une installation d'impression sur papier. Une autre technique courante est celle de l'impression « à jet d'encre », typique des imprimantes de bureau. Le choix de la technique dépend du type de travail à faire et du coût recherché.



Figure 7

Installation d'imprimerie pour l'électronique par sérigraphie.



Dans tous les cas, la préparation des « encres », qui sont des solutions à propriétés bien spécifiques, est réalisée par des équipes de techniciens ou chercheurs pluridisciplinaires (chimistes formulateurs [c'est-à-dire qui peuvent décider du mélange de produits à utiliser], équipementiers, électroniciens).

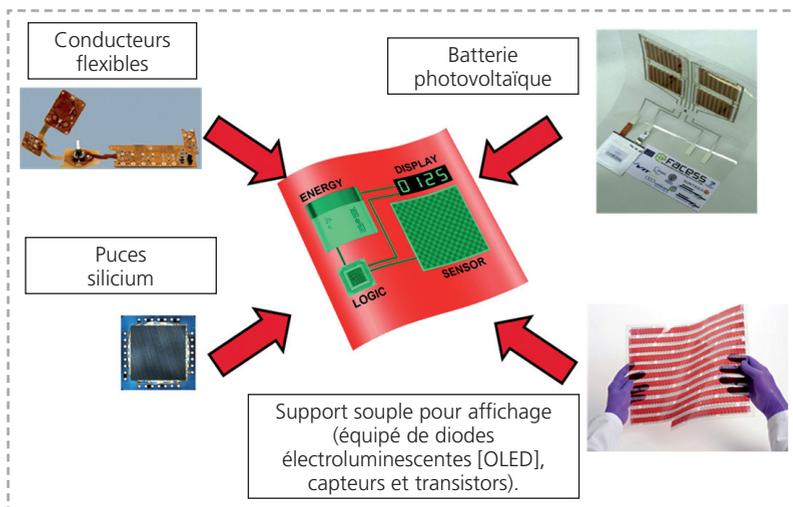
## Une nouvelle génération d'équipements

### Les réalisations d'aujourd'hui...

L'électronique organique peut utiliser sur une variété de supports – plats ou non – films plastiques, papier ou plastiques transparents, robustes, recyclables, etc. La *figure 8* montre des « conducteurs flexibles », des batteries photovoltaïques pour l'exploitation de l'énergie solaire, des « puces » au silicium à insérer sur supports souples, et des surfaces plus importantes équipées d'afficheurs ou de capteurs.

Figure 8

Exemples de composants réalisés en matériaux organiques pour réaliser un équipement sur écran souple.



À partir de tels composants, on peut imaginer toute sorte de nouveaux équipements. En voici quelques-uns, qui existent déjà dans les laboratoires :

– on peut équiper un tissu (un drap) de capteurs thermiques. Ils peuvent mesurer la carte des températures d'une grande surface pour tester



une installation de chauffage ou également pour des applications médicales (Figure 4) ;

- on peut répartir des sources de lumière sur un tissu (des LED organiques) pour réaliser un éclairage étendu et créer une ambiance lumineuse confortable ;
- on peut équiper une grande surface de capteurs de rayonnement du Soleil (capteurs photovoltaïques) pour réaliser une installation de production d'énergie sur une surface courbe (un toit aux formes compliquées ou une tente de camping) (Figure 9).



Figure 9

L'installation de cellules photovoltaïques sur supports souples multiplie les utilisations possibles. Ici, on les utilise sur des tentes de camping pour recharger des batteries.

## ... et celles de demain

Les possibilités du silicium et celles des composants organiques sont différentes et complémentaires. On voudrait bien les marier en mettant au point ce que l'on appelle des systèmes hybrides-organiques plus silicium (Figure 10).



Figure 10

Le mariage du silicium et des composants organiques : la voie du futur.



Figure 11

Écran de liseuse sur support souple réalisé par intégration hybride silicium + organique.



Des mesures (température, détection d'objets, luminosité) seraient faites par des capteurs et reçues par des surfaces organiques activées. Les résultats, utilisés pour la commande d'équipements, l'affichage en temps réel, leur mise en mémoire des résultats, leur partage et leur traitement seraient traités par des composants au silicium mieux adaptés et directement insérés sur les supports plastiques actifs (Figure 11).

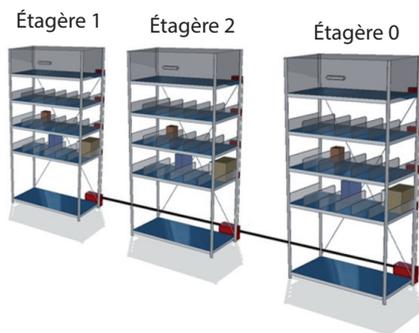
Figure 12

Équipement d'un système d'étagères par des détecteurs électroniques du stock présenté.



Des étagères capables de suivre les stocks dans les magasins sont déjà en cours de réalisation (Figure 12). Il existe aussi des dispositifs d'imagerie médicale transportables, des piluliers intelligents (qui indiquent les pilules à prendre et leur réserve disponible).

### Agencement du système



Envoi des informations collectées au niveau de chaque étagère (via boîtier rouge) sur un tableau de contrôle toujours à base d'électronique silicium

## Conclusion

La chimie des matériaux inorganiques (métaux ou semi-conducteurs) a donné, il y a déjà longtemps, naissance à l'électronique. Au cours des dernières décennies, elle a permis l'apparition des équipements de communication actuels.

La chimie organique apporte, aujourd'hui, de nouvelles possibilités en permettant d'équiper de grandes surfaces. Les nouveaux équipements en préparation, grâce à son utilisation, ne tarderont pas à envahir notre vie quotidienne !